

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 12.12.2001

14
priority
E. Heikkinen
6-207

ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT



Hakija Applicant	Nokia Telecommunications Oy Helsinki
Patenttihakemus nro Patent application no	991135
Tekemispäivä Filing date	18.05.1999
Kansainvälinen luokka International class	H02M
Keksinnön nimitys Title of invention	"Integroitu tasavirtamuunnin"

Hakijan nimi on hakemusdiaariin 05.12.1999 tehdyn nimenmuutoksen jälkeen **Nokia Networks Oy**.

The application has according to an entry made in the register of patent applications on 05.12.1999 with the name changed into **Nokia Networks Oy**.

Hakemus on hakemusdiaariin 12.12.2001 tehdyn merkinnän mukaan siirtynyt **Nokia Corporation** nimiselle yhtiölle.

The application has according to an entry made in the register of patent applications on 12.12.2001 been assigned to **Nokia Corporation**.

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

Marketta Tehikoski

Marketta Tehikoski
Apulaistarkastaja

Maksu 300 mk (50 € 1.1.2002 lähtien)
Fee 300 FIM (50 EUR from 1 January 2002)

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite:	Arkadiankatu 6 A	Puhelin:	09 6939 500	Telefax:	09 6939 5328
	P.O.Box 1160	Telephone:	+ 358 9 6939 500	Telefax:	+ 358 9 6939 5328
	FIN-00101 Helsinki, FINLAND				

1

2/

INTEGROITU TASAVIRTAMUUNNIN

Keksintö kohdistuu tasavirtamuuntimiin. Eri-
tyisesti keksinnön kohteena on hakkurityyppinen tasa-
virtamuunnin, hakkurityyppinen regulaattori ja mene-
5 telmät näiden muodostamiseksi.

KEKSINNÖN TAUSTA

Nykyisissä teholähteissä pyritään mahdolli-
simman pieneen kokoon ja vastaavasti mahdollisimman
10 suureen tehotiheyteen eli pyritään maksimoimaan virta-
lähteen tehon ja tilavuuden suhdetta. Teholähteiden
koon pienentämiselle on esteenä komponenttien fyysinen
koko ja lämpeneminen. Elektroniikan komponenttien,
etenkin puolijohteiden fyysinen koko pienenee jatku-
15 vasti. Teholähteen suurimmat komponentit ovat magneet-
tisia komponentteja, kuten muuntajat ja suodatuskelat.
Magneettikomponenttien kokoa voidaan pienentää tiet-
tyynajaan asti puolijohteiden kytkentätaajuutta kas-
vattamalla. Taajuuden kasvattamista rajoittavat häviöt
20 magneettikomponentin sydänmateriaalissa ja puolijoh-
teissa sekä teholähteiden lämpeneminen. Mikäli teho-
lähteen kokoa pienennetään häviötehon pysyessä samana,
pienenee tavallisesti myös lämpöä ympäristöön luovut-
tava pinta-ala aiheuttaen teholähteen lämpötilan nou-
25 sun. Tällöin myös muut komponentit kärsivät lämpenemi-
sestä, kun teholähde on sijoitettu lähelle muuta
elektroniikkaa.

KytKentätaajuutta nostamalla voidaan magneet-
tikomponenttien tilavuutta pienentää, mutta korkeasta
30 taajuudesta aiheutuu lisää häviöitä. Taajuutta ei kan-
nata nostaa muutamaa sataa kilohertsiä korkeammalle.
Tilan säästöä on saavutettu myös korvaamalla perintei-
set langalla käämityt, korkeat magneettikomponentit
matalilla planaarisilla rakenteilla.

35 Magneettikomponenttien pienentämisen mahdol-
listava kytkentätaajuuden nostaminen nykyiseltä tasol-

ta ei ole kokonaisuuden kannalta kannattavaa. Käämityksissä esiintyvät parasitiittisten elementtien vaikutukset kasvavat, kuten esimerkiksi sydänmateriaalin hystereesistä aiheutuvat häviöt ja kytkentähäviöt.

5 Magneettisen hystereesin tekemää työtä ei voi palauttaa takaisin sähköiseksi energiaksi, vaan se muuttuu sydänmateriaalissa häviöiksi, jotka puolestaan nostavat sydänmateriaalin lämpötilaa.

Hystereesihäviöt kasvavat taajuuden ja magneettivuon vaihtokomponentin kasvaessa. Hystereesihäviöt ovat olennainen osa magneettikomponentissa, kuten muuntajassa tai kelassa tapahtuvasta kokonaistehohäviöstä. Kelarakenteet saturoituvat tietyn kuormavirran yläpuolella. Magneettikomponenttien koon pienentämisellä saavutettu etu ei vastaa lisääntyneistä tehohäviöistä aiheutuvia lisäkustannuksia.

10
15

Eräs menetelmä magneettikomponenttien koon pienentämiseksi on usean magneettikomponentin integroiminen samalle magneettisydämelle. Julkaisussa US 5555494 on esitetty rakenne, jossa useita magneettikomponentteja on integroitu samalle magneettisydämelle. Rakenteessa on käytetty hyväksi E-tyypin magneettisydäntä, jossa kummallakin sivutolpalla on ilmaväli ja keskitolppa on yhtenäinen. Magneettisydämen ympärille on integroitu muuntajan käämitykset ja muuntimen lähtöjännitteen suodatuksen käytettävät suodatuskelat. Kyseisessä ratkaisussa suodatuskelat on sijoitettu magneettisydämen sivutolppien ympärille.

20
25

Esillä olevan keksinnön tarkoituksena on ratkaista edellä mainitut ongelmat. Erityisesti keksinnön tarkoituksena on tuoda esiin uuden tyyppinen tasavirtamuunnin ja hakkurityyppinen regulaattori, joissa muuntajan käämit ja lähtöjännitteen suodatuskelat on integroitu samalle magneettisydämelle. Edelleen keksinnön tarkoituksena on tuoda esiin menetelmät mainittujen muuntimen ja regulaattorin muodostamiseksi.

30
35

KEKSINNÖN YHTEENVETO

Keksinnön kohteena on menetelmä hakkurityyp-
pisen tasavirtamuuntimen muodostamiseksi. Tällöin ta-
savirtamuunnin on muuntajakytketty, jolloin muuntimen
5 virransyöttö on isoloitu. Toisin sanoen muuntimen en-
siö- ja toisiopuolten välillä ei ole galvaanista yhte-
yttä. Muuntimen magneettisydämeen kuuluu ensimmäinen
ja toinen sivutolppa, joiden päät on yhdistetty pääty-
kappaleilla toisiinsa ja keskitolppa, johon on järjes-
10 tetty ilmaväli ja joka on yhdistetty päätykappaleisiin
ensimmäisen ja toisen sivutolpan väliin. Magneet-
tisydän on edullisesti E-tyyppiä. Magneettisydämen ym-
pärillemä on järjestetty ensiökäämi, toisiökäämi ja toi-
siopuolen suodatuskela. Keksinnön mukaisessa menetel-
15 mässä suodatuskela järjestetään keskitolpan ympärille.
Ensiö- ja toisiökäämit järjestetään sivutolppien ympä-
rille siten, että niiden muodostama magneettivuo on
suodatuskelan magneettivuon suuntainen.

Eräässä keksinnön edullisessa sovelluksessa
20 muuntimen ensiöpuolelle järjestetään neljä käämiä si-
ten, että kytketään kaksi käämiä sarjaan ensimmäisen
ja toisen sivutolpan ympärille. Käämit järjestetään
sivutolppien ympärille siten, että käämien muodostama
magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutol-
25 palla. Edelleen muuntimen toisiopuolelle järjestetään
kaksi käämiä ensimmäisen ja toisen sivutolpan ympäril-
le siten, että käämien muodostama magneettivuo on vas-
takkaissuuntainen samaan sivutolppaan yhdistettyyn en-
siökäämiin nähden. Magneettivuo on saman suuntainen
30 kummallakin sivutolpalla silloin, kun magneettivuon
voidaan ajatella kiertävän kehää magneettisydämen ym-
päri, jolloin kehän muodostavat sivutolpat ja pääty-
kappaleet. Ensimmäisen sivutolpan magneettivuo siis
vahvistaa toisen sivutolpan magneettivuota.

35 Eräässä sovelluksessa ensiökäämejä ohjataan
ensimmäisen ja toisen kytkinelementin välityksellä.
Lisäksi ensiöpuolelle järjestetään kaksi kondensaatto-

ria siten, että ensimmäinen kondensaattori kytketään kytkinelementtien väliin ja toinen kondensaattori rinnan syöttöjännitteen kanssa.

Eräässä toisessa sovelluksessa muuntimen ensiöpuolelle järjestetään kaksi kytkinelementtiä ja kaksi kondensaattoria siten, että ensimmäinen kytkinelementti kytketään kahden ensiökäämin väliin ja toinen kytkinelementti vastaavasti sarjaan kahden muun ensiökäämin väliin. Lisäksi kytketään ensimmäinen kondensaattori ensimmäisen kytkinelementin ensimmäiseltä puolelta toisen kytkinelementin toiselle puolelle ja toinen kondensaattori ensimmäisen kytkinelementin toiselta puolelta toisen kytkinelementin ensimmäiselle puolelle. Kytkinelementin eri puolet on käsitettävissä kytkinelementin mukaan, esimerkiksi mosfet-transistorissa drain on ensimmäinen puoli ja source toinen puoli; vastaavasti esimerkiksi bipolaaritransistorilla emitteri voi olla ensimmäinen puoli ja kollektori toinen puoli. Määrittelyn voi tehdä kytkinelementin mukaisesti alan ammattimiehen tuntemalla tavalla.

Eräässä sovelluksessa järjestetään muuntimen ensiöpuolelle neljä käämiä siten, että kytketään kaksi käämiä sarjaan ensimmäisen ja toisen sivutolpan ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuoto on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla ja kytketään kaksi muuta käämiä siten, että niiden muodostaman magneettivuon suunta on samalla sivutolpalla vastakkainen edelliseen nähden. Edelleen järjestetään ensiöpuolelle kaksi kytkinelementtiä ja kondensaattori siten, että kytketään ensimmäinen kytkinelementti toisesta päästä sarjaan kahden ensiökäämin kanssa ja toisesta päästä syöttöjännitteen toiseen napaan. Toinen kytkinelementti kytketään vastaavasti kahden muun ensiökäämin kanssa. Kondensaattori kytketään rinnan syöttöjännitteen kanssa.

Eräässä sovelluksessa ensiöpuolelle järjestetään kaksi kytkinelementtiä, kaksi kondensaattoria ja kaksi käämiä siten, että muodostetaan kytkinelementeillä ja kondensaattoreilla puolisisiltakytkentä. Käämit kytketään siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla ja käämit on toisesta päästä kytketty kytkinelementtien väliin ja toisesta päästä kondensaattorien väliin.

Eräässä sovelluksessa järjestetään ensiöpuolelle neljä kytkinelementtiä, kondensaattori ja kaksi käämiä siten, että muodostetaan kytkinelementeillä kokosiltakytkentä. Lisäksi kytketään kondensaattori rinnan syöttöjännitteen kanssa. Käämit kytketään sarjaan siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla ja käämit on toisesta päästä kytketty kahden kytkinelementin väliin ja toisesta päästä kahden muun kytkinelementin väliin.

Edellä kuvattuihin sovelluksiin voidaan yhdistää useita toisiopuolen sovelluksia. Eräässä sovelluksessa kytketään suodatuskelan käämin ensimmäinen pää toisiokäämin ensimmäisen ja toisen sivutolpan käämityksien väliin ja kytketään toinen pää muuntimen lähtöjännitteen ensimmäiseen napaan.

Eräässä sovelluksessa järjestetään toisiopuolelle kolmas ja neljäs kytkinelementti toisiokäämin kanssa sarjaan kytkettynä ja järjestetään muuntimen lähtöjännitteen toinen napa kolmannen ja neljännen kytkinelementin väliin. Kytkinelementit voidaan myös korvata diodeilla. Tällöin toisiopuolelle järjestetään ensimmäinen ja toinen diodi sarjaan kytkettynä toisiokäämin kanssa ja järjestetään muuntimen lähtöjännitteen toinen napa ensimmäisen ja toisen diodin väliin.

Eräässä sovelluksessa toisiopuolelle järjestetään vähintään kaksi erilaista jännitelähtöä siten, että järjestetään yhtä jännitelähtöä kohden kaksi käämiä ensimmäisen ja toisen sivutolpan ympärille. Jänni-

teholähdöt voivat olla joko kelluvia tai niillä voi olla yhteinen maataso.

Lisäksi keksinnön kohteena on menetelmä hakkurityyppisen regulaattorin muodostamiseksi, johon kuuluu edellä kuvatun kaltainen magneettisydän, jonka ympärille järjestetään kaksi käämiä ja suodatuskela. Regulaattori poikkeaa muuntimesta siten, että lähtö- ja syöttöjännitteiden välillä on galvaaninen yhteys. Menetelmässä järjestetään suodatuskela keskitolpan ympärille ja järjestetään käämit sivutolppien ympärille siten, että niiden muodostama magneettivuon suuntaus-
kelan magneettivuon suuntainen.

Edelleen keksinnön kohteena on hakkurityyppisen tasavirtamuunnin, johon kuuluu edellä kuvatun kaltainen magneettisydän, ensiökäämi, toisiokäämi ja toisiopuolen suodatuskela. Keksinnön mukaisessa muuntimessa suodatuskela on kierretty keskitolpan ympärille ja ensiö- ja toisiokäämit on kierretty sivutolppien ympärille siten, että niiden muodostama magneettivuon suuntaus-
kelan magneettivuon suuntainen.

Lisäksi keksinnön kohteena on hakkurityyppisen regulaattori, johon kuuluu edellä kuvatun kaltainen magneettisydän, kaksi käämiä ja suodatuskela. Keksinnön mukaisesti suodatuskela on järjestetty keskitolpan ympärille ja sivutolppien ympärille on järjestetty käämit siten, että niiden muodostama magneettivuon suuntaus-
kelan magneettivuon suuntainen.

Keksinnön etuina on, että teholähde voidaan suunnitella yhden vakiotyyppisen magneettisydämen ympärille. Tällöin saavutetaan huomattavia etuja sekä suunnittelussa että valmistuksessa. Esitetyllä ratkaisulla voidaan entistä paremmin hyödyntää magneettisydämen magneettivuon tiheyden kapasiteettia. Erilisten suodatinkelojen väheneminen pienentää teholähteen kokoa ja siten parantaa tehotiheyttä, samalla pystytään käyttämään magneettisydäntä suhteellisen te-

hokkaasti hyväksi. Suurissa valmistusmäärissä saavutetaan merkittävä kustannussäästö sydänmateriaalissa.

Perinteiseen muuntajaratkaisuun verrattuna vuon vaihtelu komponentin keskitopalla pienenee, mikä
5 johtaa pienempiin magneettisydämen hystereesi- ja pyörrevirtahäviöihin.

Syöttöasteen rakenteen ansiosta push-pull-topologialle tyypillisten suurten ensiökäämien välisen kapasitanssin haitat pystytään eliminoimaan, joten
10 suuret virtapiikit tehopuoliyohteiden päällekytkennässä häviävät. Ominaisuus vähentää suodatustarvetta virtamittauksessa ja puoliyohteiden virtarasitus pienenee. Ensiökytkinten välisen erotuskondensaattorin latautuminen kytkinten ollessa johtamattomana aiheuttaa
15 jatkuvan ensiövirran, jonka aaltoisuus on hyvin pieni. Tarvetta erilliseen sisääntulon suodatuskelaan ei ole ja sisääntulon sähkömagneettinen interferenssi (EMI, Electro Magnetic Interference) on hyvin pieni.

Jatkuvalla toiminta-alueella magneettisydämen
20 keskitolpan ilmarakoon varastoitunut energia aiheuttaa jatkuvan virran lähtöön ensiökytkinten asennosta huolimatta. Energia purkautuu osaksi sivutolppien käämien kautta ja osaksi keskitolpan käämin kautta. Tästä johtuen lähtöön ei tarvita erillistä suodatuskelaa. Lisäksi vuorovaiheissa johtavat sivutolppien toisiokäämit mahdollistavat kokoaaltotasasuuntauksen käytön, jossa virtarasitukset voidaan jakaa tasan kahdelle komponentille.

Buck- ja flyback-tyyppisiin tehölähderatkaisuihin verrattuna magneettimateriaalia pystytään käyttämään tehokkaasti hyödyksi, koska magnetointi tapahtuu sydämen sivutolpilla kytkentäajaksosta riippuen erisuuntiin. Samasta syystä voidaan kokoaaltotasasuuntausta ja muita kokoaaltomuuttajien periaatteita käyttää
35 analyyseissä hyväksi.

Tarkasteltaessa komponentin toimintaa, voidaan havaita toisen muuntajan magnetointi-induktanssin

olevan sarjassa toisen muuntajan kanssa. Näin ollen komponentti on jossain määrin ominaisuuksiltaan virtasyötetty muuntaja. Kyseisestä ominaisuudesta johtuen virtamuotosäätö soveltuu erittäin hyvin komponentin ohjaamiseen. Sarjassa olevasta magnetointi-induktanssista on hyötyä erityisesti ulostulon oikosulku- ja muissa vikatilanteissa, jolloin virta ei pääse kasvamaan hallitsemattomasti.

Elektroniikan käyttöjännitteiden pienentyessä on tullut tarvetta kehittää erilaisia synkronitasasuuntausmenetelmiä. Esitetty topologia soveltuu hyvin myös synkronitasasuuntauksen yhteydessä käytettäväksi.

15 KUVALUETTELO

Seuraavassa keksintöä selostetaan oheisten suoritus esimerkkien avulla viittaamalla oheiseen piirustukseen, jossa

kuvat 1a ja 1b esittävät kaaviomaisesti erästä sovellusta keksinnön mukaisesta tasavirtamuuntimesta;

kuva 2 esittää tunnetun tekniikan mukaista hakkuriteholähdettä;

kuva 3 esittää esillä olevan keksinnön erään sovelluksen mukaista syöttöastetta;

kuva 4 esittää kuvan 3 syöttöasteen virtojen käyrämuotoja;

kuva 5 esittää magneettivuon suuntia eri kytkentätilanteissa;

kuvat 6a - 6d esittävät eräitä sovelluksia ensiöpuolen kytkennöiksi;

kuvat 7a - 7d esittävät eräitä sovelluksia toisiopuolen kytkennöiksi; ja

kuvat 8a ja 8b esittävät eräitä sovelluksia hakkuriregulaattoreiksi.

KEKSINNÖN YKSITYISKOHTAINEN SELOSTUS

Kuvissa 1a ja 1b on esitetty keksinnön mukaisen tasavirtamuuntimen periaatteellinen rakenne. Tasavirtamuunnin muuntaa ensiöpuolen tasavirtamuotoisen syöttöjännitteen lähtöpuolen tasavirtamuotoiseksi lähtöjännitteeksi. Kuvissa on käytetty seuraavia merkin-

5 tönä ja lyhenteitä:

- Ui on muunninta syöttävä jännitelähde;
- Ci on sisääntulon suodatinkondensaattori;
- A ja B ovat ensiön kytkinelementtejä;
- 10 C1 on ensiökäämien välinen kondensaattori;
- P1 - P4 ovat ensiön sivutolpille jakautuvat käämit;
- S1 ja S2 ovat toision sivutolpille jakautuvat käämit;
- 15 Sc on toision keskitolpalla oleva käämit;
- A' ja B' ovat toision kytkinelementtejä tai dioditasasuuntaajan diodeja; ja
- Co on lähdön suodatinkondensaattori.

Kuvissa käämeille merkityt pisteet osoittavat käämien polariteetin käämin P1 suhteen. CT on virtamuotosäädössä käytettävä virranmittausmuuntaja, joka on kytketty komponentin ensiökäämien kanssa sarjaan. Magneettisydän M on E-tyyppinen ferriitti, joka on tehty edullisesti planaariinmuotoon. Magneettisydämeen M

20 kuuluu kaksi sivutolppaa MS1, MS2. Sivutolpat MS1, MS2 on yhdistetty toisiinsa päätykappaleilla MP1, MP2. Sivutolpat MS1, MS2 ja päätykappaleet MP1, MP2 muodostavat olennaisesti yhtenäisen kokonaisuuden, jolloin niihin ei kuulu yhtään ilmaräliä. Keskitolppa MK on

25 sovitettu sivutolppien MS1, MS2 väliin yhdistämällä se päätykappaleisiin MP1, MP2. Keskitolppaan MK on järjestetty ilmaräli G.

Ensiökäämit P1 - P4 on kierretty sivutolppien MS1, MS2 ympärille siten, että kaksi käämiä on kytketty sarjaan vastakkaisien sivutolppien ympärille. Täl-

35 löin esimerkiksi ensiökäämi P1 on kierretty sivutolpan MS1 ympärille ja ensiökäämi P2 sivutolpan MS2 ympäril-

le. Käämien kiertosuunta on sellainen, että niiden muodostaman magneettivuon voidaan ajatella kiertävän samaan suuntaan magneettisydämen M ulkokehää, jonka muodostavat sivutolpat MS1, MS2 ja päätykappaleet MP1, MP2. Toisiokäämit S1, S2 on kierretty sivutolppien MS1, MS2 ympärille ja suodatuskela Sc keskitolpan MK ympärille.

Kuvassa 2 on esitetty tunnetun tekniikan mukainen push-pull-teholähde, jossa magneettiset komponentit on sijoitettu erilleen toisistaan. Keksinnön mukainen topologia optimoi DC-DC-hakkuriteholähteen (DC, Direct Current) magneettikomponenttien koon ja määrän siten, että kuvan 2 mukaisen push-pull-teholähteen sisääntulovirran suodatuskela Li, muuntaja X1 ja ulostulovirran suodatuskela Lo on integroitu samaan komponenttiin.

Keksinnön mukaisessa ratkaisussa ensiöpiiri koostuu erityisestä kondensaattorilla C1 erotetusta syöttöasteesta, jossa käämityksissä esiintyvän hajakapasitanssin haittavaikutukset on poistettu. Varsinainen ensiökäämi P1 - P4 koostuu kahden symmetrisen muuntajan ensiökäämin sarjaankytkennästä, P1-P2 ja P3-P4. Muuntajat jakautuvat symmetrisesti magneettisydämen M sivutolpille MS1, MS2. Erikoisesta syöttöasteestaan huolimatta säätöpiirinä voidaan käyttää tavallista push-pull-teholähteen virtamuotoperiaatteella toimivaa säätöpiiriä.

Sisääntulojännitteen U_i syöttäminen ensiökäämeille P1 - P4 voidaan jakaa ajallisesti kahteen puolijaksoon, kummallekin ensiökäämille P1-P2, P3-P4 oma puolikkaansa, kuten tavallisessa push-pull-topologiassakin. Ensimmäisen puolijakson aikana toinen sivutolppien toisiokäämeistä ja keskitolpan käämi johtavat ensiön toisioon indusoiman virran ja edellisellä kytkentäjakson puolikkaalla magneettisydämen puolikkaaseen varastoituneen energian toisioon. Samalla energiaa varastoituu johtamattoman toisiokäämin mag-

neettivuohon. Seuraavalla kytkentäjakson puolikkaalla käämien osat vaihtuvat. Tilanne on periaatteeltaan sellainen, että toinen sivutolpista MS1, MS2 toimii virtamuuntajana toisen toimiessa kelana. Hetkellä, jolloin kumpikaan kytkimistä A, B ei johda, sisääntulon virta kulkee ensiökäämien läpi kondensaattoriin C1 lasoittaen virran pulssimaisuutta. Näin ollen sisään-
5 tulossa ei tarvita suodatuskelaa. Lähdössä vastaavasti magneettisydämeen M varastoitunut energia vapautuu molempien toisiokäämien S1, S2 ja keskitolpan käämin Sc
10 kautta, joten erillistä lähdön suodatuskelaa ei tarvita.

Tarkastellaan syöttöasteen toimintaa staattisessa toimintatilanteessa, jossa lähdön virta I_o ja jännite U_o ovat vakioita. Tällöin myös sisääntulon
15 virta ja kytkinten A, B ohjauspulssien leveys ovat vakioita. Syöttöasteen periaatteellisen toiminnan analyysissä voidaan magneettikomponentin toisio ajatella ideaaliseksi hajainduktanssien ja hajakapasitanssien
20 suhteen. Tällöin ensiö voidaan kuvata irrallisena kokonaisuutena kuvan 3 mukaan, jossa I_i on rakennetta syöttävä virtalähde, C_i on sisääntulon suodatinkondensaattori ja C_1 on käämien erotuskondensaattori. P_1 ja P_2 ovat ensiön käämitykset ja A ja B ovat ensiön kyt-
25 kimet. Kondensaattoreiden oletetaan tässä tarkastelun vaiheessa olevan hyvin suuria. Käämien välistä magneettista kytkentää on merkitty pisteillä siten, että syötettäessä käämin pistepäähän positiivinen jännite,
indusoituu toisen käämin pistepäähän positiivinen jännite. Virtojen positiivinen suunta on merkitty kuvaan
30 puolilla.

Tarkastellaan eri komponenttien virtojen käyramuotoja kuvan 4 mukaan. Virtalähde I_i syöttää koko ajan vakiovirtaa. Hetkellä t_0 kytkin B pidetään johtamattomana ja kytkin A kytketään johtavaksi, jolloin
35 kytkimen A läpi kulkee virta virtalähteeltä I_i ja sisääntulon suodatinkondensaattorilta C_i käämin P_1 läpi.

Samaan aikaan käämien välinen kondensaattori C1 purkautuu käämin P2 ja kytkimen A läpi. Näin ollen kytkin A johtaa sekä käämin P1 että käämin P2 virran. Tarkasteltaessa käämeille P1 ja P2 syötettävän virran polariteettia, voidaan huomata virran kulkevan molempien käämien pistepäästä sisään. Näin ollen käämit magneetoivat magneettisydäntä M samaan suuntaan ja tehoa siirtyy johtavaan toisiokäämiin. Virran hidas kasvaminen johtuu magneettisydämen M aiheuttamasta magnetoin-
5 ti-induktanssista. Kytkentäjakson aikana kondensaattorit Ci, C1 tasaavat virran aaltoisuuden, joten ne purkautuvat.

Hetkellä t1 kytkin A avataan ja kytkin B pysyy johtamattomassa tilassa, joten kummankaan kytkimen
15 A, B läpi ei kulje virtaa. Edellisen kytkentäjakson aikana kondensaattorit Ci, C1 purkautuivat, joten syötetty virta varaa niitä. Syötetty virta kulkee nyt kummankin ensiökäämin P1, P2 läpi. Tarkasteltaessa virran polariteettia, voidaan todeta virran kulkevan
20 käämin P1 pistepäästä sisään ja käämin P2 pistepäästä ulos. Käämien vastakkainen magneetoiminen tarkoittaa sitä, että ensiökäämitus ei siirrä lähtöön tehoa, eikä myöskään magneettisydämen M magneettivuohon varastoidu energiaa. Tästä syystä ensiöön syötettävä virta pysyy
25 vakiona hetkien t1 - t2 välillä, eikä merkittäviä tehohäviöitä ole.

Kytkin B kytketään johtavaksi hetkellä t2 kytkimen A pysyessä johtamattomassa tilassa. Sisään syötetty virta alkaa kulkea kytkimen B ja käämin P2
30 läpi kondensaattorin C1 purkautuessa kytkimen B ja käämin P1 lävitse. Käämivirtojen polariteettia tarkasteltaessa voidaan huomata virran kulkevan kummankin käämin pistepäästä ulos, jolloin tehoa siirtyy toisi-
con ja energiaa varastoituu magneettisydämen M magneettivuohon. Kondensaattorit Ci, C1 purkautuvat ja
35 tasaavat virran aaltoisuutta. Kytkentäjakson t2 - t3 voidaan havaita olevan sydämen M magnetoinnin ja tehon

toisioon siirtämisen kannalta vastakkaisvaiheinen aikaväliin $t_0 - t_1$ verrattuna.

Aikavälillä $t_3 - t_4$ kumpikaan kytkin A, B ei johda ja virta kulkee kummankin ensiökäämin P1, P2 lävitse varaten kondensaattoreita C1, C2 siirtämättä energiaa joko toisioon tai magneettisydämeen M. Aikaväli on identtinen aikaväliin $t_1 - t_2$ verrattuna. Hetkellä t_4 kytketään kytkin A johtavaksi ja hetki vastaa hetkeä t_0 .

10 Rakenteella saavutetaan tavanomaiseen push-pull-ensiöön verrattuna seuraavia hyötyjä. Puoli-johteiden kytkentäjaksen aikana tavanomaisessa push-pull-ensiössä vain toinen ensiökäämi johtaa kaiken virran. Vain toisen ensiökäämin johtaessa käämin virrantiheys nousee aiheuttaen resistiivisiä häviöitä. Kun esitetyssä rakenteessa virta kulkee molempien ensiökäämien lävitse, koko ensiökäämitys saadaan tehokkaaseen käyttöön ja virran tiheys käämeissä laskee huomattavasti. Virrantiheyden laskemisen lisäksi käämivirtojen tehollisarvo ja harmonisten taajuuksien sisältö on pienempi kuin kytkinvirroilla. Näistä seikoista johtuen käämien häviöt ovat pienemmät kuin tavanomaisessa push-pull-toteutuksessa. Vaihtoehtoisesti käämityksissä voidaan käyttää poikkipinta-alaltaan pienempiä johtimia.

25 Eräs merkittävä etu saavutetaan ensiökäämien P1, P2 välisessä kapasitanssissa. Normaalin push-pull-muuntajan ensiö käämitään kahdella langalla yhtä aikaa siten, että eri käämien kierrokset ovat hyvin lähellä toisiaan. Käämintätavasta aiheutuu käämien välistä kapasitanssia. Puoli-johteiden kytkeytyessä tämä kapasitanssi tyhjenee nopeasti aiheuttaen suuren virtapiikin. Virtapiikistä puolestaan lisää puoli-johteiden virtaräsitelystä. Lisäksi hajakapasitanssi aiheuttaa oskillointia parasiittisten induktanssien kanssa. Virtapiikki aiheuttaa ongelmia virtamuotosäädössä, jossa mitattua virran arvoa käytetään takaisinkytkentäsuureena. Virheellisen toiminnan estämiseksi virtapiikki

täytyy suodattaa mittaussignaalista. Suodatus puolestaan aiheuttaa viivettä takaisinkytkentäsilmutta ja systeemin stabiilisuus saattaa kärsiä.

Esitetyssä topologiassa ensiökäämit P1 - P4
5 voidaan kiertää sydämen M ympärille samalla tavalla kuin perinteisessä push-pull-topologiassakin. Käämien välille muodostuu kapasitanssi samalla tavalla kuin edellisessä tarkastelussa. Tällä kertaa käämien väliin
10 sijoitetaan kondensaattori ja kytkimet A, B ryhmitellään uudelleen kuten kuvassa 1a. Tarkasteltaessa käämien P1 - P4 välistä kapasitanssia, voidaan sen havaita olevan lähes merkityksetön kytkentätapahtuman kannalta. Käämitusten välisellä kondensaattorilla on pyritty lisäämään käämien päiden välistä AC-kytkentää,
15 eli hajakapasitanssia. Rakenteen ansiosta kytkentävirtepiikeistä päästään eroon ja virtamittauksen suodatusarve vähenee.

Syöttöasteen tärkeimmät ominaisuudet liittyvät hajainduktanssin aiheuttamiin ongelmiin. Käytetyssä rakenteessa hajainduktanssin energia pystytään
20 palauttamaan syöttöjännitteeseen, joten häviöt pienenevät. Tavanomaisessa push-pull rakenteessa ensiön kytkinten sammutustransientissa voidaan havaita suuria jännitepiikkejä. Syöttöasteen rakenne rajoittaa piikit
25 tehokkaasti kaksinkertaisen syöttöjännitteen suuruisiksi.

Komponentin toiminnan ymmärtämiseksi voidaan komponentti ajatella kahdeksi erilliseksi kuvan 1b mukaiseksi muuntajaksi. Ensimmäisen muuntajan T1 muodostavat ensiökäämit P1, P3 ja toisiokäämi S2. Vastaavasti
30 toisen muuntajan T2 muodostavat ensiökäämi P2, P4 ja toisiokäämi S1. Kaikissa ensiökäämeissä P1 - P4 on yhtä paljon kierroksia. Myös molemmissa toisioissa S1, S2 on sama kierrosmäärä. Ensiön ja toision kierrosmäärien suhteella määrätään haluttu muuntosuhde. Muuntosuhteen valitsemiseen vaikuttavat sisääntulevan jännitteen vaihteluväli ja lähtöön haluttu jännite. Läh-

töön on järjestetty suodatuskela Sc tasaamaan virran aaltoisuutta. Muuntajien ensiökäämit on kytketty sarjaan ja muuntajissa olevat pisteet kuvaavat virran kulkusuuntaa. Mikäli virta kulkee ensiössä pistepäästä sisään, kulkee virta toisiossa pistepäästä ulos. Ilma-
5 raolliset magneettisydämet on valittu siten, että ilmarako pystyy varastoimaan yhtä paljon tai enemmän energiaa kuin ulostuloon siirtyy yhden ensiökytkimen johtaessa.

10 Kuvan 1a tai 1b mukaisesti toisiossa kytkinelementit A' ja B' on kytketty siten, että A' tasasuuntaa käämin S2 virran ja B' puolestaan tasasuuntaa käämin S1 virran. Lähtövirran suodatuskela Sc on kytketty lähdön maajohtimeen. Lähdön suodatinkondensaattori Co
15 oletetaan ideaaliseksi ja suureksi, joten se poistaa kaiken aaltoisuuden lähdön Uo jännitteestä. Ensimmäistä ja toista kytkinelementtiä A, B ohjataan sopivalla säätöpiirillä, joka pitää ulostulojännitteen Uo määrättyssä arvossa. Toisiossa kytkinelementit A' ja B' toimivat
20 eräässä sovelluksessa vastakkaisvaiheisena ensiön kytkinelementteihin A, B nähden. Kytkinelementit A, B, A', B' voivat olla esimerkiksi mosfet-transistoreja tai vastaavia tehopuolijohdekytkimiä. Eräässä sovelluksessa kytkinelementit A', B' on toteutettu diodeilla,
25 jotka suorittavat tasasuuntauksen.

Tarkastelussa oletetaan kuorman pysyvän vakiona ja täten myös tehopuolijohteiden ohjauksen oletetaan pysyvän vakiona. Stabiilissa toimintatilanteessa kondensaattori C1 on latautunut syöttävään jännitteeseen Ui ensiökäämien P1 - P4 kautta. Ensiön kytkinten A, B oletetaan johtavan vuorovaiheissa, kuten
30 syöttöasteen kuvauksessa on edellä esitetty.

Kytkimen A johtaessa alkaa virta kulkea syöttöjännitteestä Ui käämien P1 ja P2 kautta maahan. Samaan aikaan kondensaattori C1 alkaa purkautua käämien P3 ja P4 kautta. Näin ollen kummankin käämiparin yli vaikuttaa syöttöjännitteen suuruinen potentiaali. Vir-
35

virran jakautuminen käämiparien kesken on pulssisuhteen lineaarinen funktio.

Virran kulkiessa käämeissä P2 ja P4 pisteestä ulos, kulkee virta toisiokäämissä S1 pisteestä sisään
5 ja kytkinelementti B' johtaa virran lähtöön. Vastavasti käämeissä P1 ja P3 virta kulkee pistepäästä ulos, joten toisiossa S2 virta pyrkii kulkemaan pistepäästä sisään. Kytkinelementti A' estää kuitenkin virran kulkemisen ja näin ollen käämien P1 ja P3 läpi
10 kulkeva virta magnetoi muuntajan T1 sydäntä eli varastoi energiaa muuntajan sydämeen. Syöttöjännite jakautuu sarjassa olevien käämien kesken siten, että käämien P2 ja P4 yli olevaa jännitettä rajoittaa lähdön jännite Uo muuntosuhteella kerrottuna. Muu osa jännitteestä jää käämien P1 ja P3 yli. Virran kulkiessa läh-
15 dön maavedon kelan kautta siihen varastoituu energiaa.

Suodatuskela Sc siirtää varastoimansa magneettisen energian lähtöön hetkellä, jolloin kumpikaan kytkin A, B ei johda. Näin suodatuskela Sc ylläpitää
20 lähdön virtaa. Samalla muuntajan T1 magnetointienergia purkautuu lähtöön. Kytkimen B johtaessa tilanne on päinvastainen kuin kytkimen A johtaessa. Muuntaja T1 johtaa virtaa ulostuloon ja muuntaja T2 varastoi energiaa sydänmateriaalin M magneettikenttään. Samanlaisista vuorovaiheisista kytkentäjaksoista johtuen muun-
25 tajat ovat toistensa suhteen symmetriset ja ulostulossa voidaan käyttää kokoaaltotasasuuntaajaa. Ensiökäämien P1 - P4 sarjaankytkennästä johtuen magnetointienergiaa varastoivan muuntajan yli tulee jäädä vä-
30 hintään puolet syöttöjännitteestä, muuten toiminta ei ole mahdollista.

Mikäli toimintaa tutkitaan magneettisessa mielessä kytkimen A johtaessa, voidaan todeta seuraavat seikat. Muuntaja T2 tarjoaa magneettisen tien magneettikentälle, joka kytkee käämit P2 ja P4 virran
35 lähtöön johtavaan käämiin S1. Samalla hetkellä muuntaja T1 toimii muuntajan T2 kanssa sarjassa olevana ke-

lana. T1 varastoi energiaa ilmvälin G magneettikenttään. Muuntajaan T1 varastoitu energia siirtyy lähtöön kytkinten ollessa johtamattomassa tilassa, tai viimeistään kytkimen B johtaessa. Toimintaa voisi kuvata myös buck- ja flyback-tyyppisten muuntajien sarjaan-
5 kytkentänä, jossa muuntajat vaihtavat tehtäväänsä vuorojaksoin. Toisen muuntajan toimiessa kelana saadaan aikaan virtasyötetyn teholähteen ominaisuudet. Ensio-
10 kytkinten virta ei kasva hallitsemattomasti, vaikka toisio hetkellisesti oikosuljettaisiin. Ension virran kasvu rajoittuu kelana toimivan muuntajan magnetointi-
virran kasvun tasolle.

Keksinnön mukaisessa ratkaisussa edellä kuvatu-
kahdella muuntajalla T1, T2 ja ulostulon suodatus-
15 kelalla Sc varustetun teholähteen magneettisten komponenttien magneettitiet on pystytty yhdistämään. Magneettiteiden yhdistämisellä päästään integroituun rakenteeseen, jossa tarvitaan vain yksi magneettisydän M
20 entisen kolmen sijaan. Analyysi suoritetaan kuvan 5 merkintöjen mukaan. Tarkastelussa käytetään jännitteisiin perustuvia vuomalleja.

Toiminta jaetaan tarkastelussa neljään aikaväliin. Aikaväli $t_0 - t_1$ kuvaa tilannetta, jossa kyt-
kin A johtaa, aikavälillä $t_1 - t_2$ kumpikaan kytkin ei
25 johda, kytkin B johtaa ajan $t_2 - t_3$ ja $t_3 - t_4$ aikana kumpikaan kytkin ei johda.

Hetkellä t_0 kytketään kytkin A johtavaksi ja virta alkaa kulkea ensiökäämeissä nuolten IA1 ja IA2 osoittamia reittejä. Käämien yli oleva jännite aiheut-
30 taa käämien magneettiteihin magneettivuon muutoksen. Indusoituvien magneettivoiden suunta saadaan oikean käden säännöllä. Vuon kulkusuunta on merkitty kuvaan 5 jokaisella komponentin tolalla erikseen. Ension indusoima magneettivuo induoi jännitteen toisiokäämei-
35 hin S1, S2 ja keskitolpan käämiin Sc. Toisiokäämeissä jännitteiden polariteetit ovat seuraavat. Käämin S2 kytkinelementin A' puoleinen pää saa negatiivisen po-

lariteetin ja keskitolpan puoleinen pää saa positiivisen polariteetin, eli kytkinelementti B' estää virran kulkemisen käämissä S2. Käämin S1 kytkinelementin B' puoleinen pää saa positiivisen polariteetin ja keskitolpan puoleinen pää negatiivisen polariteetin, kytkinelementti B' on myötäsuuntaan biasoitu ja alkaa johtamaan. Samaan aikaan keskitolpan vuon muutos saa keskitolpan maan puoleisen päänsä polariteetin positiiviseksi ja toisiokäämien puoleisen päänsä polariteetin negatiiviseksi. Keskitolpan käämin päiden yli syntyvä potentiaaliero on pienempi kuin toisiokäämin S1 päiden yli oleva polariteetti, joten virta alkaa kulkea kytkinelementin B' kautta lähtöön Uo.

Ensiön ja toision käämeille pätevät samat lainalaisuudet, joten ensiökäämin aiheuttaman vuon muutos sydämen tolalla MS1 ei voi olla suurempi kuin lähdön ja keskitolpan jännitteen rajoittama arvo. Toision aiheuttamasta rajoituksesta johtuen sisääntuleva jännite jakautuu ensiökäämien suhteen siten, että tolalla MS2 olevien käämien yli jää suurempi jännite kuin tolalla MS1 olevien käämien yli. Magneettivuon kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tolalla MS1 vuon muutos on pienempi kuin tolalla MS2.

Kuvassa 5 vuon muutoksen suuruutta ja suuntaa on kuvattu nuolilla, tolalla MS1 nuolella $\Phi A1$ ja tolalla MS2 nuolella $\Phi A2$. Koska magneettivuo on jatkuva, täytyy sydämen M keskitolalla MK kulkea sivutolppien magneettivoiden summa $\Phi A1 - \Phi A2$. Tämän summavuon voidaan havaita magnetoivan keskitolppaa MK alaspäin. Itse asiassa keskitolpan MK magneettivuohon vaikuttaa osaltaan myös käämi Sc.

Tarkastelussa siirrytään aikavälin $t1 - t2$ yli, aikavälille $t2 - t3$. Hetkellä $t2$ kytketään kytkin E johtavaksi ja virta alkaa kulkea ensiökäämeissä muolten IB1 ja IB2 osoittamia reittejä. Käämien yli oleva jännite aiheuttaa käämien magneettiteihin magneettivuon muutoksen, kuten aikavälillä $t0 - t1$. Indu-

soituvien magneettivoiden suunta saadaan oikean käden säännöllä. Vuon kulkusuunta on merkitty kuvaan 5 jokaisella komponentin tolalla erikseen. Ensiön indusoima magneettivuo indusoi jännitteen toisiokäämeihin S1, S2 ja keskitolpan MK käämiin Sc.

Toisiokäämeissä S1, S2 jännitteiden polariteetit ovat seuraavat. Käämin S1 kytkentäelementin B' puoleinen pää saa negatiivisen polariteetin ja keskitolpan MK puoleinen pää saa positiivisen polariteetin, eli kytkentäelementti B' estää virran kulkemisen käämissä S1. Käämin S2 kytkentäelementin A' puoleinen pää saa positiivisen polariteetin ja keskitolpan puoleinen pää negatiivisen polariteetin, kytkentäelementti A' on myötäsuuntaan biasoitu ja alkaa johtamaan.

Samaan aikaan keskitolpan vuon muutos saa keskitolpan maan puoleisen pään polariteetin positiiviseksi ja toisiokäämien puoleisen pään polariteetin negatiiviseksi. Keskitolpan käämin päiden yli syntyvä potentiaali ero on pienempi kuin toisiokäämin S2 päiden yli oleva potentiaali ero, tästä syystä virta alkaa kulkea kytkentäelementin A' kautta lähtöön Uo.

Symmetrisen toiminnan johdosta vuon vaihtelu tapahtuu sydämellä M symmetrisesti aikaväliin $t_0 - t_1$ verrattuna. Toisin sanoen ensiökäämin aiheuttaman vuon muutos sydämen M tolalla MS2 ei voi olla suurempi kuin arvo, johon ulostulon ja keskitolpan MK jännitteet sen rajoittavat. Toision aiheuttamasta rajoituksesta johtuen sisään tuleva jännite jakautuu ensiökäämien suhteen siten, että tolalla MS1 olevien käämien yli jää suurempi jännite kuin tolalla MS2 olevien käämien yli. Magneettivuon kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tolalla MS2 vuon muutos on pienempi kuin tolalla MS1.

Kuvassa 5 vuon muutoksen suuruutta ja suuntaa on kuvattu nuolilla, tolalla MS1 ΦB_1 ja tolalla MS2 ΦB_2 . Koska magneettivuo on jatkuva, täytyy sydämen keskitolpalla kulkea sivutolppien magneettivoiden sum-

- na $\Phi B1 - \Phi B2$. Tämän summavuon voidaan havaita magnetoi-
van keskitolppaa alaspäin. Tässä havaitaan merkittävä
ero kytkentäjaksoon $t0 - t1$ verrattuna. Vaikka toimin-
ta on symmetristä, ei keskitolpalle MK syntyvän summa-
5 magneettivuon polariteetti käännä. Seurauksena on kes-
kitolpalle MK syntyvä magneettivuon tasavirtakompo-
nentti. Keskitolpan MK tasavirtakomponentti merkitsee
sitä, että myös sivutolpilla MS1, MS2 täytyy olla ta-
savirtakomponentti.
- 10 Kytkentäjaksoissa ajanhetket $t1 - t2$ ja $t2 -$
 $t3$ ovat samanlaiset ja niiden tarkastelu voidaan esit-
tää yhtenä tarkasteluna. Hetkellä $t1$ kytkin A kytke-
tään johtamattomaksi. Virta kulkee ensiökäämeissä
pyöttöasteen kuvauksessa esitetyllä tavalla, joten en-
15 siövirta ei vaikuta komponentin magneettivuohon mil-
lään tavalla. Keskitolpan MK ilmapälin G magneetti-
vuohon varastoitunut energia purkautuu, joten tolalla
MS1 vuon muutos on samaan suuntaan kuin se oli ollut
kytkimen johtaessakin. Täten käämissä S1 virta jatkaa
20 kulkuaan samaan suuntaan kuin kytkimen johtaessakin.
Tolalla MS2 magneettivuon muutoksen polariteetti puo-
lestaan kääntyy. Muutoksen suunnan kääntyminen induoi
käämiin S2 jännitteen, joka myötäbiasoi kytkentäele-
mentin A' ja virta alkaa kulkea lähtöön. Lähtövirta I_0
25 lakautuu käämien S1 ja S2 välillä lähes tasan. Myös
keski-tolalla MK tapahtuu magneettivuon muutoksen po-
lariteetin kääntyminen. Keskitolpan MK käämiin Sc in-
duoituvan jännitteen positiivinen pää on toisiokää-
meillä ja negatiivinen pää maassa. Voidaan todeta si-
30 vutolppien MS1, MS2 toisioiden ja keskitolpan MK kää-
min jännitteiden summautuvan.

- Kuvissa 6a - 6d on esitetty eräitä vaihtoehtoisia sovelluksia keksinnössä käytettäväksi ensiöpuo-
len kytkennäksi. Kuvassa 6a on esitetty eräs sovellus
35 symmetrisestä push-pull-kytkennästä. Sovelluksessa en-
siön ja toision välisen hajakapasitanssin kautta kyt-
keytyvä yhteismuotoinen häiriövirta voidaan saada pie-

nemmäksi ja symmetriseksi molemmilla sivupylväillä MS1, MS2. Vastaavasti haittana on ensiöpuolen kyt-kinelementtien kelluva ohjaus ja ensiökäämin ulkoisten päiden lukumäärän kasvaminen neljästä kahdeksaan.

5 Muuntimen ensiöpuolelle on järjestetty kaksi kyt-kinelementtiä A, B ja kaksi kondensaattoria C1, C2 si-ten, että ensimmäinen kytkinelementti A on kytketty sarjaan kahden ensiökäämin P1, P2 väliin ja toinen kytkinelementti B vastaavasti sarjaan kahden muun en-
10 siökäämin P3, P4 väliin. Ensimmäinen kondensaattori C1 on kytketty ensimmäisen kytkinelementin A ensimmäisel-le puolelle ja toisen kytkinelementin B toiselle puo-
15 lelle ja toinen kondensaattori C2 ensimmäisen kyt-kinelementin A toiselle puolelle ja toisen kytkinele-
15 mentin B ensimmäiselle puolelle.

Kuvassa 6b on esitetty tavanomainen push-pull-kytkentä, jolloin integroitu magneettikomponentti toimii vastaavalla tavalla kuin edellä on esitetty. Muuntimen ensiöpuolelle on järjestetty neljä käämiä

20 P1, P2, P3, P4 siten, että kaksi käämiä P1, P2 on kyt-ketty sarjaan ensimmäisen ja toisen sivutolpan MS1, MS2 ympärille. Käämien P1, P2 muodostama magneettivuon on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla MS1, MS2. Kaksi muuta käämiä P3, P4 on kytketty vastaavasti si-
25 ten, että käämit muodostavat magneettivuon edelliseen nähden vastakkaiseen suuntaan samalla sivutolpalla. En-
30 siöpuolelle on järjestetty kaksi kytkinelementtiä A, B ja kondensaattori Ci siten, että ensimmäinen ja toinen kytkinelementti A, B on kytketty toisesta päästä sar-
jaan kahden ensiökäämin P1, P) kanssa ja toisesta
30 päästä syöttöjännitteen Ui toiseen napaan. Kondensaat-tori Ci on kytketty rinnan syöttöjännitteen Ui kanssa.

Kuvissa 6c ja 6d on esitetty puoli- ja ko-sosiltaversiot kytkennästä. Tällöin ensiökäämien toi-
35 men pari jää pois.

Kuvassa 6c ensiöpuolelle on järjestetty kaksi kytkinelementtiä A, B, kaksi kondensaattoria C1, C2 ja

kaksi käämiä P1, P2 siten, että kytkinelementit A, B ja kondensaattorit C1, C2 muodostavat puolisisiltakytken. Käämit P1, P2 on kytketty sarjaan siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla MS1, MS2 ja käämit on toisesta päästä kytketty kytkinelementtien A, B väliin ja toisesta päästä kondensaattorien C1, C2 väliin.

Kuvassa 6d ensiöpuolelle on järjestetty neljä kytkinelementtiä A, B, C, D, kondensaattori Ci ja kaksi käämiä P1, P2 siten, että kytkinelementit muodostavat kokosisiltakytken. Kondensaattori Ci on kytketty rinnan syöttöjännitteen Ui kanssa. Käämit P1, P2 on kytketty sarjaan siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla MS1, MS2 ja käämit on toisesta päästä kytketty kahden kytkinelementin A, B väliin ja toisesta päästä kahden muun kytkinelementin C, D väliin.

Kuvissa 7a - 7d on esitetty eräitä vaihtoehtoisia sovelluksia keksinnössä käytettäväksi toisiopuolen kytkennäksi. Kuvassa 7a on esitetty eräs toinen sovellus synkronitasasuuntaajasta. Ratkaisussa jäähdytykseen kytketty drainpotentiaali pysyy vakaana, mutta vastaavasti haittana on kytkinelementtien A', B' keltuva ohjaus. Suodatuskelan Sc käämin ensimmäinen pää on kytketty toisiokäämin ensimmäisen ja toisen sivutolpan MS1, MS2 käämityksien väliin ja toinen pää on kytketty muuntimen lähtöjännitteen Uo ensimmäiseen napaan. Toisiopuolelle on järjestetty kolmas ja neljäs kytkinelementti A', B' sarjaan kytkettynä toisiokäämin kanssa ja muuntimen lähtöjännitteen Uo toinen napa on järjestetty kolmannen ja neljännen kytkinelementin A', B' väliin.

Kuvassa 7b on esitetty vastaava kytkentä kuin edellä, mutta kytkinelementit on korvattu diodeilla. Toisiopuolelle on järjestetty ensimmäinen ja toinen diodi D1, D2 kytkettynä sarjaan toisiokäämin S1, S2

kanssa ja muuntimen lähtöjännitteen U_0 toinen napa on järjestetty ensimmäisen ja toisen diodin D1, D2 väliin.

5 Kuvassa 7d on esitetty ratkaisu kahden lähtöjännitteen muodostamiseksi yhteisellä maapotentiaalilla ja kuvassa 7c kellovillalla lähtöjännitteillä. Tällöin toisiopuolelle on järjestetty vähintään kaksi erilaista jännitelähtöä U_{01} , U_{02} siten, että yhtä jännitelähtöä kohden on kytketty kaksi käämiä ensimmäiseen
10 ja toisen sivutolpan ympärille. Vastaavaa toteutusta, jossa käämitään toisiopuolelle useampia toisiokäämejä, voidaan käyttää muodostettaessa useita erilaisia lähtöjännitettä.

Kuvissa 8a ja 8b on esitetty kaksi sovellusta
15 keksinnön mukaisista hakkuriregulaattoreista. Kuvassa 8a on esitetty vuorovaihe-synkroni buck-tyyppinen regulaattori ja kuvassa 8b vuorovaihe-synkroni boost-tyyppinen regulaattori.

Keksintöä ei rajata pelkästään edellä esitetyistä
20 sovellutusesimerkkejä koskevaksi, vaan monet muunnokset ovat mahdollisia pysyttäessä patenttivaatimusten määrittelemän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä hakkurityyppisen tasavirtamuuntimen muodostamiseksi, johon kuuluu:

magneettisydän (M), johon kuuluu:

5 ensimmäinen ja toinen sivutolppa (MS1, MS2), joiden päät on yhdistetty päätykappaleilla (MP1, MP2) toisiinsa; ja

keskitolppa (MK), johon on järjestetty ilmaväli (G) ja joka on yhdistetty päätykappaleisiin (MP1, MP2)
10 ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) väliin; jonka magneettisydämen (M) ympärille on järjestetty:

ensiökäämi (P; P1, P2, P3, P4);

toisiokäämi (S; S1, S2); ja

15 toisiopuolen suodatuskela (Sc), tunnettu siitä, että

järjestetään suodatuskela (Sc) keskitolpan (MK) ympärille; ja

järjestetään ensiö- ja toisiokäämit (P, S) sivutolppien (MS1, MS2) ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuo on suodatuskelan (Sc) magneettivuon suuntainen.
20

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään muuntimen ensiöpuolelle neljä käämiä (P1, P2, P3, P4) siten, että
25 kytketään kaksi käämiä (P1, P2; P3, P4) sarjaan ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään muuntimen toisiopuolelle kaksi käämiä (S1, S2) kytkettynä
30 ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuo on vastakkainen samaan sivutolppaan yhdistetyn ensiökäämin muodostamaan magneettivuohon nähden.
35

4. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 3 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että:

ohjataan ensiökäämejä (P) ensimmäisen ja toisen kytkinelementin (A, B) välityksellä; ja

5 järjestetään ensiöpuolelle kaksi kondensaattoria siten, että kytketään ensimmäinen kondensaattori (C1) sarjaan kytkinelementtien väliin (A, B) ja toinen kondensaattori (C1) rinnan syöttöjännitteen (Ui) kanssa.

10 5. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään muuntimen ensiöpuolelle kaksi kytkinelementtiä (A, B) ja kaksi kondensaattoria (C1, C2) siten, että:

kytketään ensimmäinen kytkinelementti (A) sarjaan kahden ensiökäämin (P1, P2) väliin ja toinen kytkinelementti (B) vastaavasti sarjaan kahden muun ensiökäämin (P3, P4) väliin; ja

15 kytketään ensimmäinen kondensaattori (C1) ensimmäisen kytkinelementin (A) ensimmäiseltä puolelta toisen kytkinelementin (B) toiselle puolelle ja toinen kondensaattori (C2) ensimmäisen kytkinelementin (A) toiselta puolelta toisen kytkinelementin (B) ensimmäiselle puolelle.

20 6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään muuntimen ensiöpuolelle neljä käämiä (P1, P2, P3, P4) siten, että kytketään kaksi käämiä (P1, P2) sarjaan ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla ja kytketään kaksi muuta käämiä (P3, P4) siten, että niiden muodostaman magneettivuon suunta on samalla sivutolpalla vastakkainen edelliseen nähden.

30 7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään ensiöpuolelle kaksi kytkinelementtiä (A, B) ja kondensaattori (Ci) siten, että:

35 kytketään ensimmäinen kytkinelementti (A) toisesta päästä sarjaan kahden ensiökäämin (P1, P2) kanssa ja toisesta päästä syöttöjännitteen (Ui) toiseen napaan;

kytketään toinen kytkinelementti (B) vastaavasti kahden muun ensiökäämin (P3, P4) kanssa; ja

kytketään kondensaattori (Ci) rinnan syöttöjännitteen (Ui) kanssa.

5 8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään ensiöpuolelle kaksi kytkinelementtiä (A, B), kaksi kondensaattoria (C1, C2) ja kaksi käämiä (P1, P2) siten, että:

10 muodostetaan kytkinelementeistä (A, B) ja kondensaattoreista (C1, C2) puolisisiltakytkentä; ja

kytketään käämit (P1, P2) sarjaan siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla (MS1, MS2) ja käämit on toisesta päästä kytketty kytkinelementtien (A, B) väliin ja
15 toisesta päästä kondensaattorien (C1, C2) väliin.

9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään ensiöpuolelle kolme kytkinelementtiä (A, B, C, D), kondensaattori (Ci) ja kaksi käämiä (P1, P2) siten, että:

20 muodostetaan kytkinelementeistä (A, B, C, D) kolmosilta;

kytketään kondensaattori (Ci) rinnan syöttöjännitteen kanssa (Ui); ja

kytketään käämit (P1, P2) sarjaan siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla ja käämit on toisesta päästä kytketty kahden kytkinelementin (A, B) väliin ja toisesta päästä kahden muun kytkinelementin (C, D) väliin.
25

30 10. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 9 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kytketään suodatuskelan (Sc) käämin ensimmäinen pää toisiokäämin ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) käämityksien väliin ja kytketään toinen pää muuntimen lähtöjännitteen (Uo) ensimmäiseen napaan.
35

11. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjeste-

tään toisiopuolelle kolmas ja neljäs kytkinelementti (A', B') sarjaan kytkettynä toisiokäämin kanssa ja järjestetään muuntimen lähtöjännitteen (Uo) toinen napa kolmannen ja neljännen kytkinelementin (A', B') väliin.

12. Patenttivaatimuksen 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään toisiopuolelle ensimmäinen ja toinen diodi (D1, D2) sarjaan kytkettynä toisiokäämin (S1, S2) kanssa ja järjestetään muuntimen lähtöjännitteen (Uo) toinen napa ensimmäisen ja toisen diodin (D1, D2) väliin.

13. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 12 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään toisiopuolelle vähintään kaksi erilaista jännitelähtöä (Uo1, Uo2) siten, että järjestetään yhtä jännitelähtöä kohden kaksi käämiä ensimmäisen ja toisen sivutolpan ympärille.

14. Menetelmä hakkurityyppisen regulaattorin muodostamiseksi, johon kuuluu:

20 magneettisydän (M), johon kuuluu:

ensimmäinen ja toinen sivutolppa (MS1, MS2), joiden päät on yhdistetty päätykappaleilla (MP1, MP2) toisiinsa; ja

keskitolppa (MK), johon on järjestetty ilmaväli (G) ja joka on yhdistetty päätykappaleisiin (MP1, MP2) ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) väliin; jonka magneettisydämen (M) ympärille on järjestetty:

kaksi käämiä (S1, S2); ja

30 suodatuskela (Sc), tunnettu siitä, että järjestetään suodatuskela (Sc) keskitolpan (MK) ympärille; ja

järjestetään käämit (S1, S2) sivutolppien (MS1, MS2) ympärille siten, että niiden muodostama magneettivuo on suodatuskelan (Sc) magneettivuon suuntainen.

35 15. Hakkurityyppinen tasavirtamuunnin, johon kuuluu:

magneettisydän (M), johon kuuluu:

ensimmäinen ja toinen sivutolppa (MS1, MS2), joiden päät on yhdistetty päätykappaleilla (MP1, MP2) toisiinsa; ja

5 keskitolppa (MK), johon on järjestetty ilmaväli (G) ja joka on yhdistetty päätykappaleisiin (MP1, MP2) ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) väliin; jonka magneettisydämen (M) ympärille on järjestetty:

ensiökäämi (P; P1, P2, P3, P4);

toisiokäämi (S; S1, S2); ja

10 toisiopuolen suodatuskela (Sc), tunnettu siitä, että

suodatuskela (Sc) on kierretty keskitolpan (MK) ympärille; ja

15 ensiö- ja toisiokäämit (P, S) on kierretty sivutolppien (P; P1, P2, P3, P4) ympärille siten, että niiden muodostama magneettivuon suodatuskelan (Sc) magneettivuon suuntainen.

16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että muuntimen ensiöpuolelle on 20 järjestetty neljä käämiä (P1, P2, P3, P4) siten, että kaksi käämiä (P1, P2; P3, P4) on kytketty sarjaan ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuon suuntainen kummallakin sivutolpalla.

25 17. Patenttivaatimuksen 15 tai 16 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että muuntimen toisiopuolelle on järjestetty kaksi käämiä (S1, S2) sarjaan kytkettynä ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) ympärille siten, että käämien muodostama magneettivuon 30 on vastakkaissuuntainen samaan sivutolppaan yhdistetyn ensiökäämin muodostamaan magneettivuohon nähden.

18. Jonkin patenttivaatimuksista 15 - 17 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että:

35 ensimmäinen ja toinen kytkinelementti (A, B), jotka on kytketty rinnan syöttöjännitteen (Ui) kanssa ja joilla ohjataan ensiökäämejä (P); ja

ensiöpuolelle on järjestetty kaksi kondensaattoria (C1, Ci) siten, että ensimmäinen kondensaattori (C1) on kytketty kytkinelementtien (A, B) väliin ja toinen kondensaattori (Ci) rinnan syöttöjännitteen (Ui) kanssa.

19. Patenttivaatimuksen 16 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että muuntimen ensiöpuolelle on järjestetty kaksi kytkinelementtiä (A, B) ja kaksi kondensaattoria (C1, C2) siten, että:

10 ensimmäinen kytkinelementti (A) on kytketty sarjaan kahden ensiökäämin (P1, P2) väliin ja toinen kytkinelementti (B) vastaavasti sarjaan kahden muun ensiökäämin (P3, P4) väliin; ja

15 ensimmäinen kondensaattori (C1) on kytketty ensimmäisen kytkinelementin (A) ensimmäiselle puolelle ja toisen kytkinelementin (B) toiselle puolelle ja toinen kondensaattori (C2) ensimmäisen kytkinelementin (A) toiselle puolelle ja toisen kytkinelementin (B) ensimmäiselle puolelle.

20 20. Patenttivaatimuksen 15 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että muuntimen ensiöpuolelle on järjestetty neljä käämiä (P1, P2, P3, P4) siten, että:

kaksi käämiä (P1, P2) on kytketty sarjaan ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) ympärille;

25 käämien (P1, P2) muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla (MS1, MS2); ja

kaksi muuta käämiä (P3, P4) on kytketty vastaavasti siten, että käämit muodostavat magneettivuon edelliseen nähden vastakkaiseen suuntaan samalla sivutolpalla.

30 21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että ensiöpuolelle on järjestetty kaksi kytkinelementtiä (A, B) ja kondensaattori (Ci) siten, että:

35 ensimmäinen ja toinen kytkinelementti (A, B) on kytketty toisesta päästä sarjaan kahden ensiökäämin

(P1, P2) kanssa ja toisesta päästä syöttöjännitteen (Ui) toiseen napaan; ja

kondensaattori (Ci) on kytketty rinnan syöttöjännitteen (Ui) kanssa.

5 22. Patenttivaatimuksen 15 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että ensiöpuolelle on järjestetty kaksi kytkinelementtiä (A, B), kaksi kondensaattoria (C1, C2) ja kaksi käämiä (P1, P2) siten, että:

kytkinelementit (A, B) ja kondensaattorit (C1, C2)
10 on järjestetty puolisolitytkentään; ja

käämit (P1, P2) on kytketty sarjaan siten, että käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla (MS1, MS2) ja käämit on toisesta päästä kytketty kytkinelementtien (A, B) väliin
15 ja toisesta päästä kondensaattorien (C1, C2) väliin.

23. Patenttivaatimuksen 15 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että ensiöpuolelle on järjestetty kolme kytkinelementtiä (A, B, C, D), kondensaattori (Ci) ja kaksi käämiä (P1, P2) siten, että:

20 kytkinelementit (A, B, C, D) on järjestetty kolmositytkentään;

kondensaattori (Ci) on kytketty rinnan syöttöjännitteen (Ui) kanssa; ja

käämit (P1, P2) on kytketty sarjaan siten, että
25 käämien muodostama magneettivuo on saman suuntainen kummallakin sivutolpalla (MS1, MS2) ja käämit on toisesta päästä kytketty kahden kytkinelementin (A, B) väliin ja toisesta päästä kahden muun kytkinelementin (C, D) väliin.

30 24. Jonkin patenttivaatimuksista 15 - 23 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että suodatuskelan (Sc) käämin ensimmäinen pää on kytketty toisiokäämin ensimmäiseen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) käämiyksien väliin ja toinen pää on kytketty muuntimen
35 lähtöjännitteen (Uo) ensimmäiseen napaan.

25. Jonkin patenttivaatimuksista 15 - 24 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että toisiopuo-

lulle on järjestetty kolmas ja neljäs kytkinelementti (A', B') sarjaan kytkettynä toisiokäämin kanssa ja muuntimen lähtöjännitteen (Uo) toinen napa on järjestetty kolmannen ja neljännen kytkinelementin (A', B')
5 väliin.

26. Patenttivaatimuksen 24 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että toisiopuolelle on järjestetty ensimmäinen ja toinen diodi (D1, D2) kytkettynä sarjaan toisiokäämin (S1, S2) kanssa ja muuntimen lähtöjännitteen (Uo) toinen napa on järjestetty ensimmäisen ja toisen diodin (D1, D2) väliin.
10

27. Jonkin patenttivaatimuksista 15 - 26 mukainen muunnin, tunnettu siitä, että toisiopuolelle on järjestetty vähintään kaksi erilaista jännitelähtöä (Uo1, Uo2) siten, että yhtä jännitelähtöä
15 kohden on kytketty kaksi käämiä ensimmäisen ja toisen sivutolpan ympärille.

28. Hakkurityyppinen regulaattori, johon kuuluu:
20 magneettisydän (M), johon kuuluu:

ensimmäinen ja toinen sivutolppa (MS1, MS2), joiden päät on yhdistetty päätykappaleilla (MP1, MP2) toisiinsa; ja

keskitolppa (MK), johon on järjestetty ilmaväli (G) ja joka on yhdistetty päätykappaleisiin (MP1, MP2) ensimmäisen ja toisen sivutolpan (MS1, MS2) väliin; jonka magneettisydämen (M) ympärille on järjestetty:
25

kaksi käämiä (S1, S2); ja
suodatuskela (Sc), tunnettu siitä, että
30 suodatuskela (Sc) on järjestetty keskitolpan (MK) ympärille; ja

sivutolppien (MS1, MS2) ympärille on järjestetty käämit (S1, S2) siten, että niiden muodostama magneettivuo on suodatuskelan (Sc) magneettivuon suuntainen.
35

23

(57) TIIVISTELMÄ

Keksinnön kohteena on hakkuri-tyyppinen tasavirtamuunnin, johon kuuluu magneettisydän, johon kuuluu ensimmäinen ja toinen sivutolppa, joiden päät on yhdistetty päätykappaleilla toisiinsa ja keskitolppa, johon on järjestetty ilmaväli ja joka on yhdistetty päätykappaleisiin ensimmäisen ja toisen sivutolpan väliin. Keksinnön mukaisesti toisiopuolien suodatuskela on kierretty keskitolpan ympärille. Ensio- ja toisiokäämit on kierretty sivutolppien ympärille siten, että niiden muodostama magneettivuo on suodatuskelan magneettivuon suuntainen.

(Fig. 1)

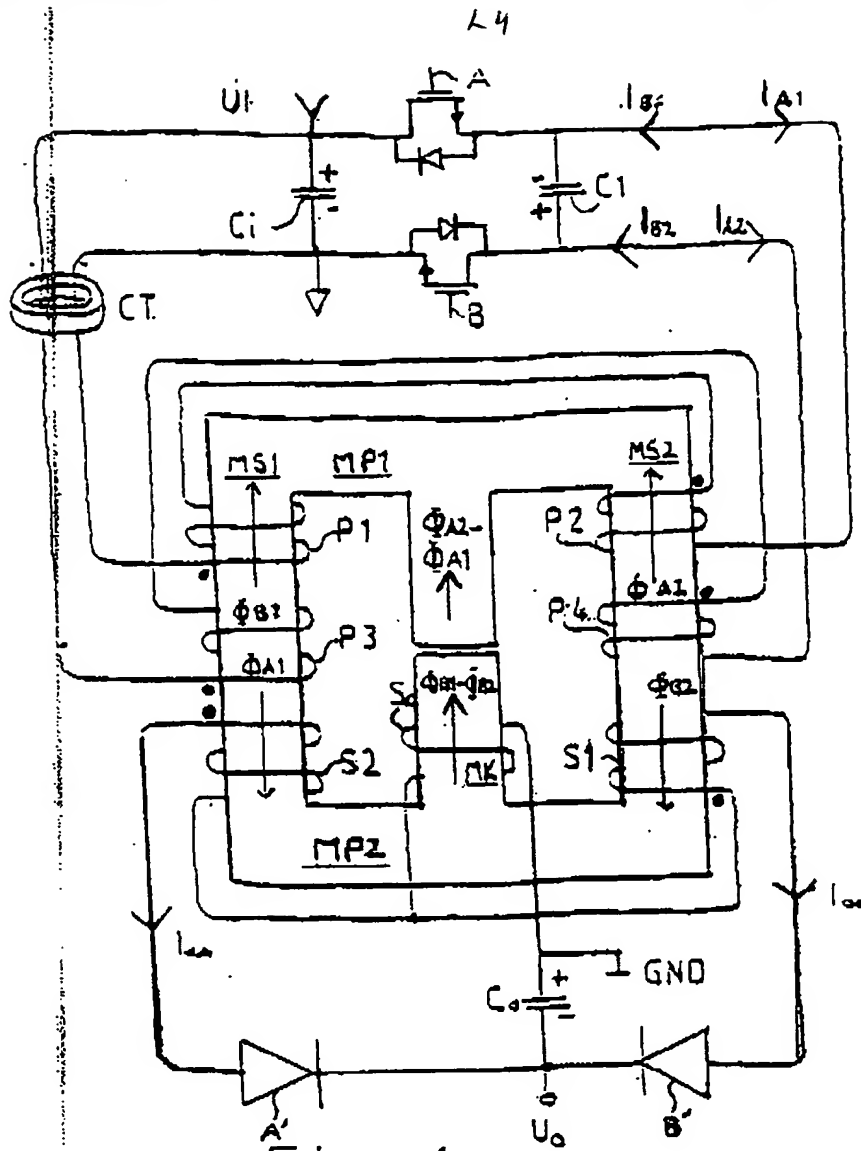


Fig 1a

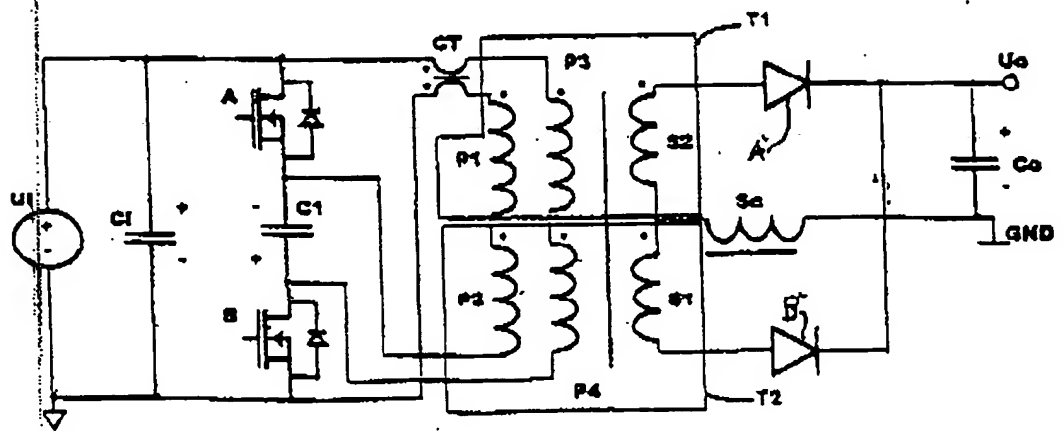


Fig 1b

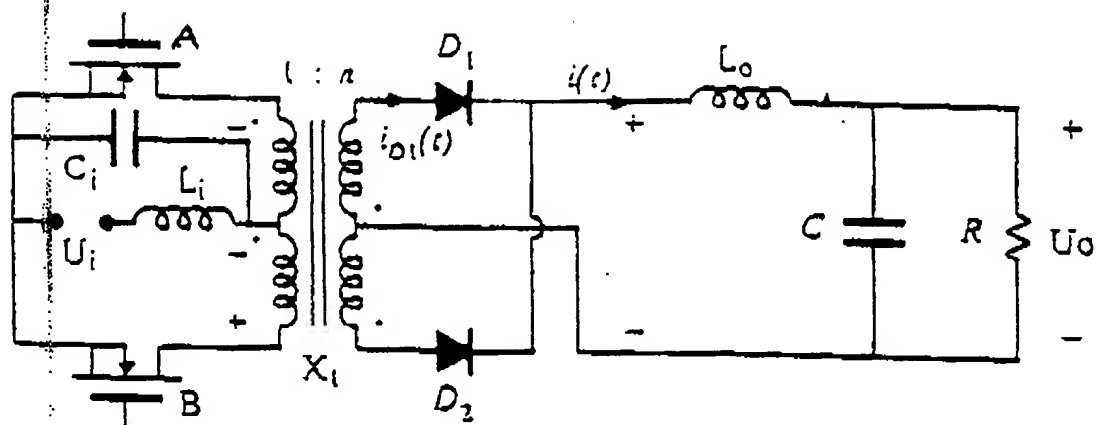


Fig 2

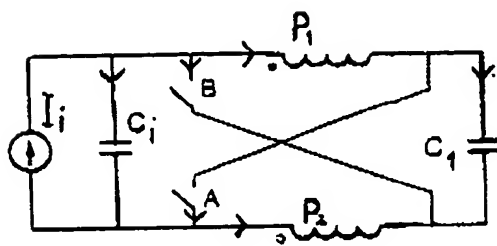


Fig 3

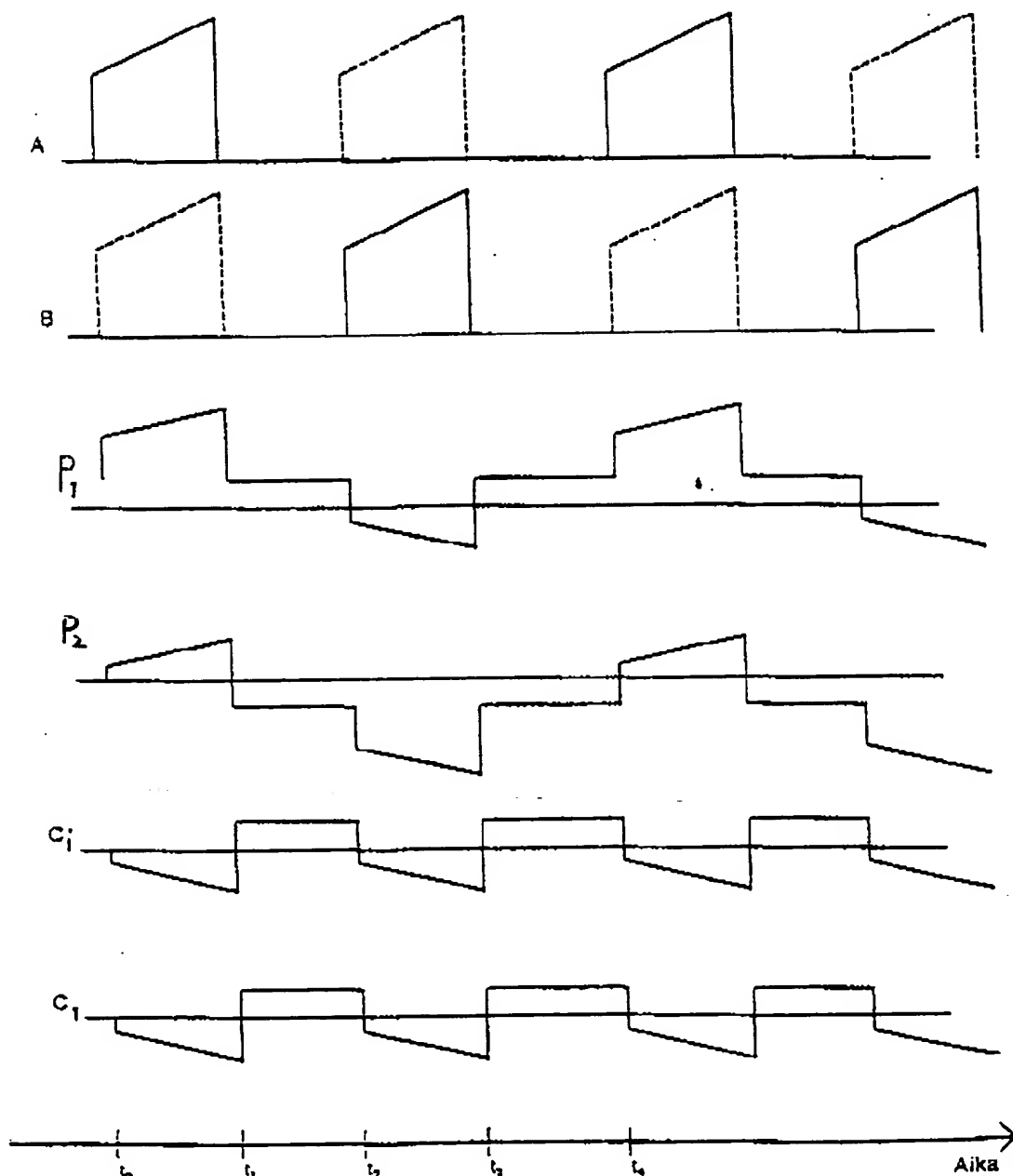


Fig 4

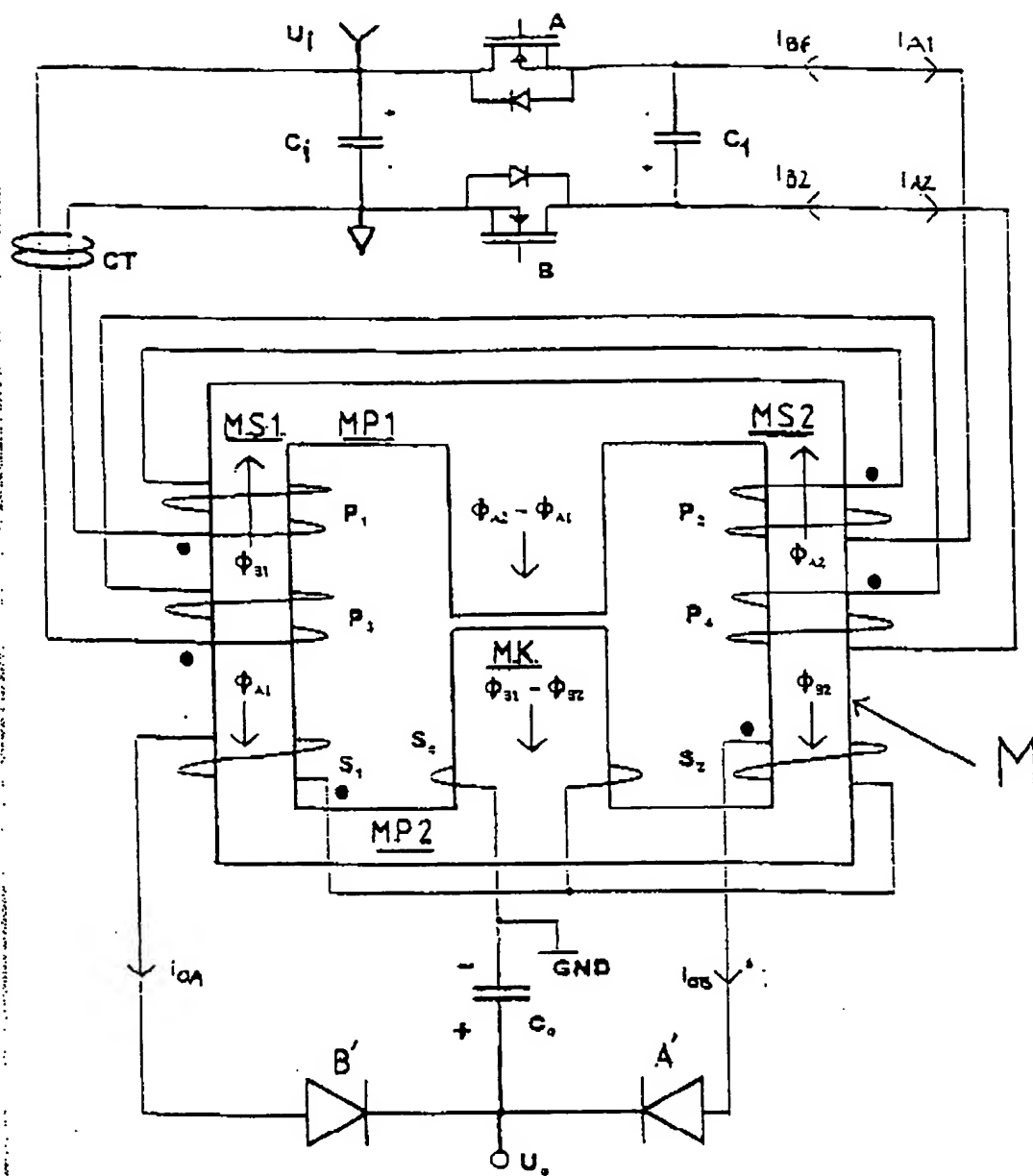


Fig 5

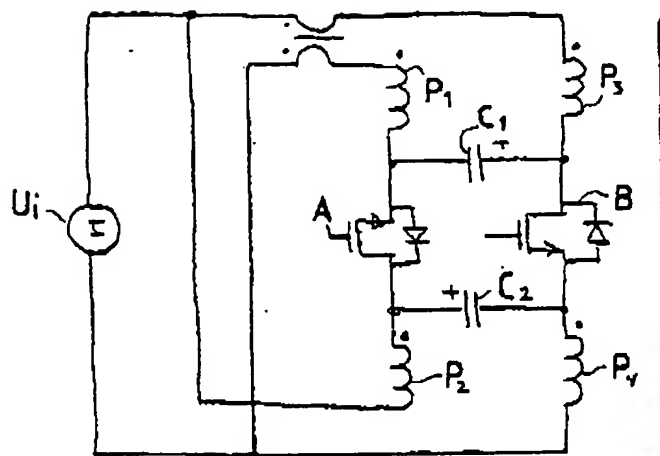


Fig 6a

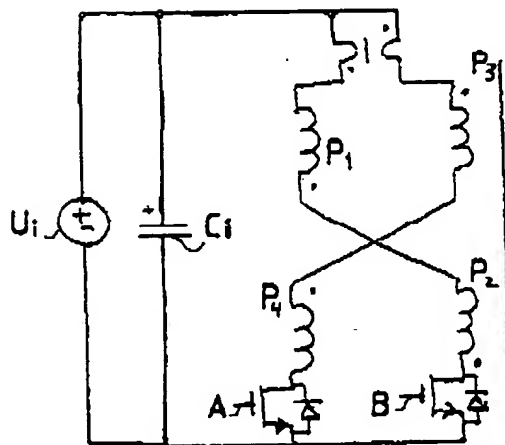


Fig 6b

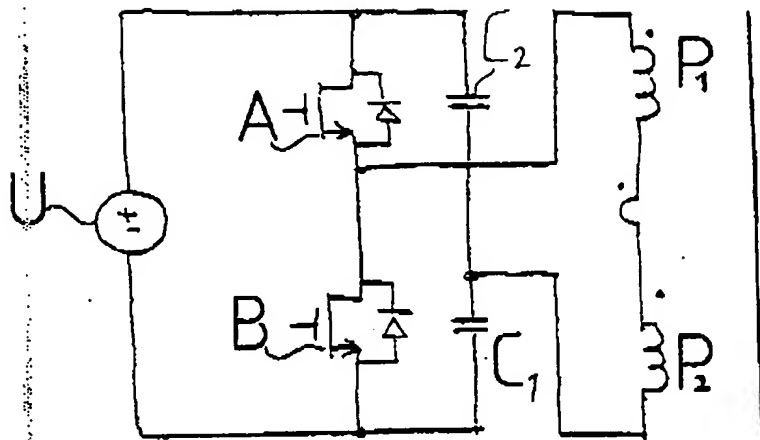


Fig 6c

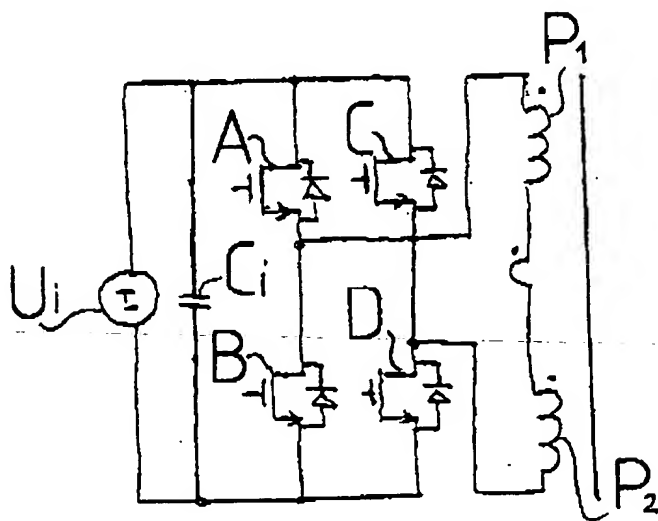


Fig 6d

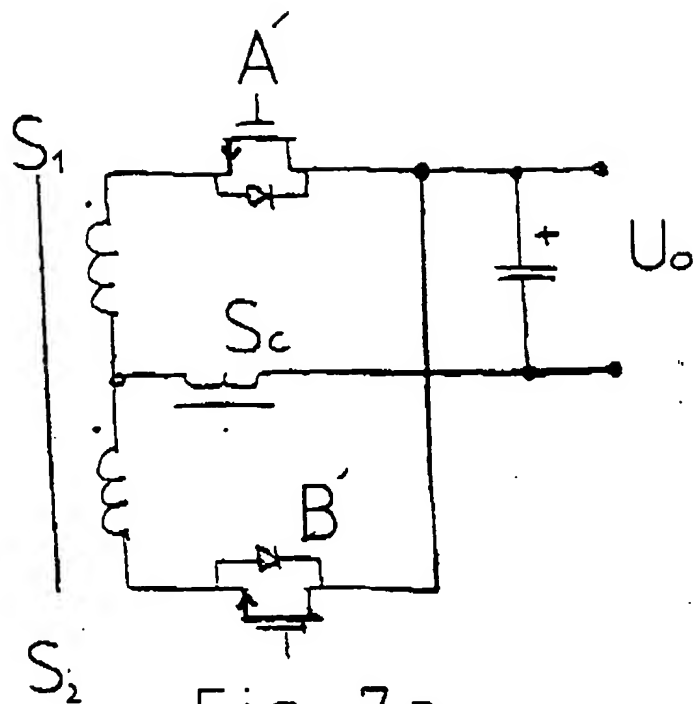


Fig 7a

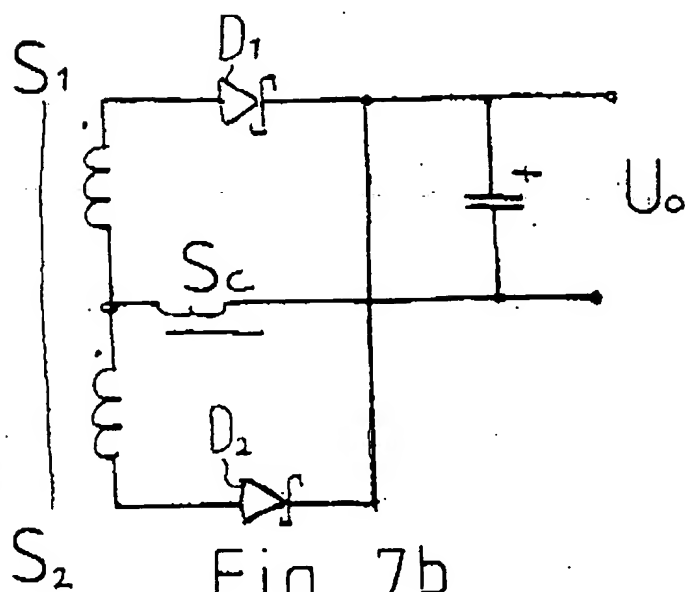


Fig 7b

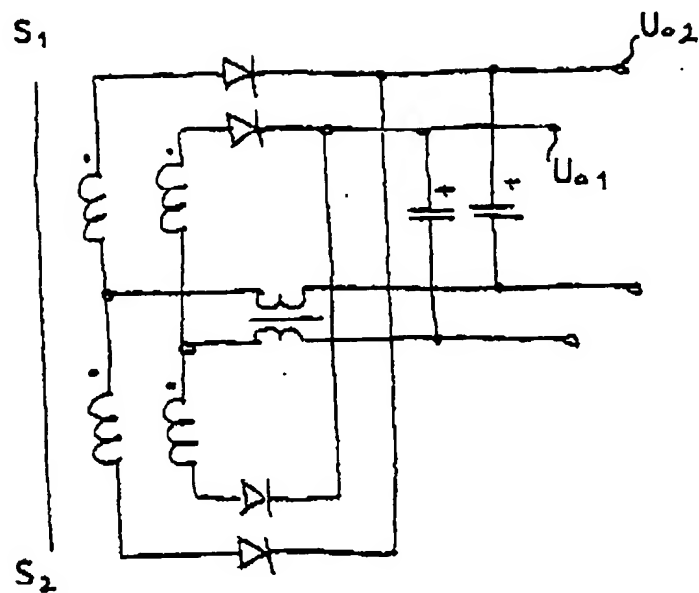


Fig. 7c

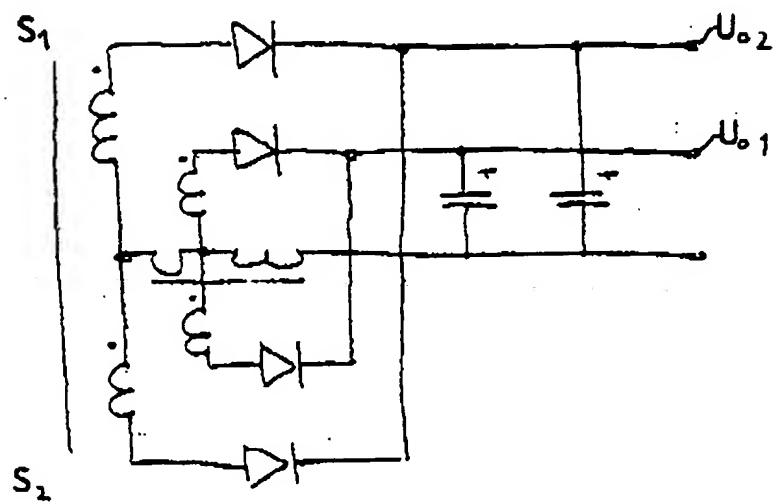


Fig. 7d

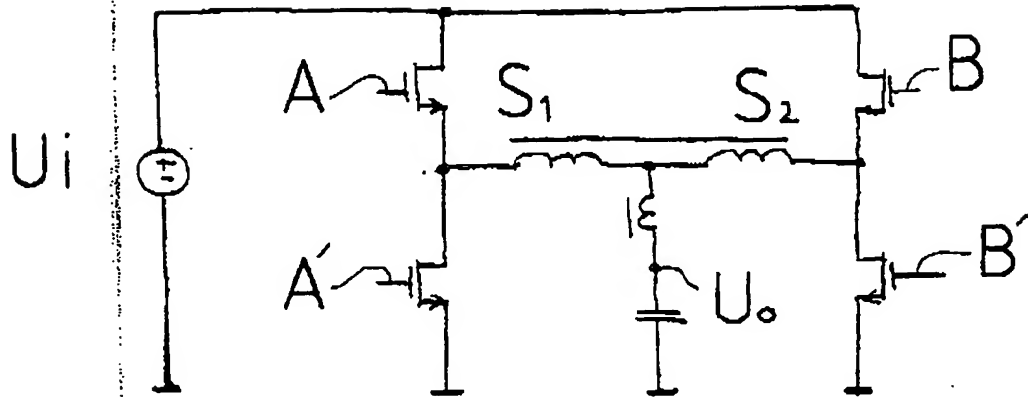


Fig 8a

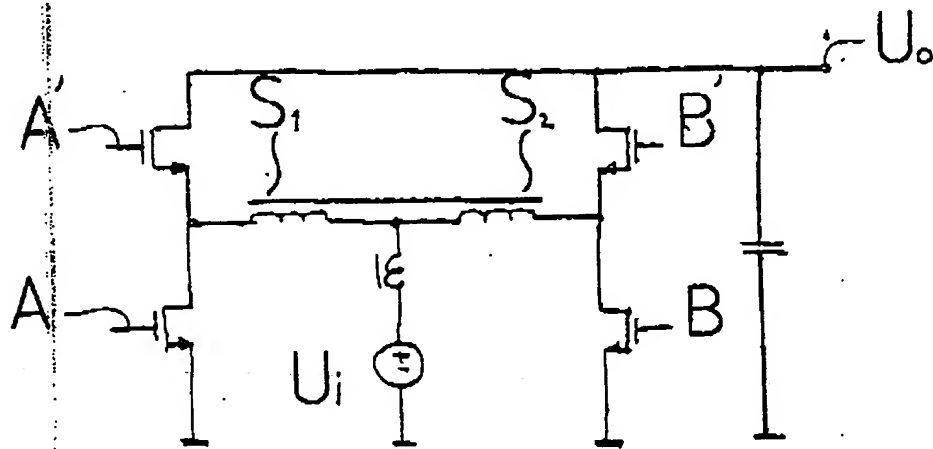


Fig 8b